

Купив эту небольшую книгу, вы станете обладателем оригинальных схем и сможете самостоятельно изготовить:

* звуковой блок тюнера непосредственного спутникового телевизионного вещания, предназначенный для прослушивания сигналов стереофонического сопровождения телевизионного и радиовещания формата Wegener/Panda-1;

* звуковой процессор, позволяющий существенно повысить качество воспроизведения стандартных стереофонических программ.

В книге есть сведения, необходимые для реализации этих устройств.

Книга подготовлена известными специалистами в области стереофонии, радиовещания и звуковоспроизведения докт. техн. наук профессором Ю.А. Ковалгиным и канд. техн. наук М.А. Сергеевым.

В следующем выпуске, продолжающем данное издание, особое внимание будет уделено звуковым процессорам. Будут описаны схемы дистанционного управления режимами их работы, рассмотрены разнообразные устройства для обработки стереофонических сигналов, а также акустические системы для основных и дополнительных каналов воспроизведения.

Издательство «Радио и связь»



Ю. А. Ковалгин
М. А. Сергеев

СТЕРЕОФОНИЧЕСКИЕ ТРАКТЫ ПРИЕМНИКОВ ПРОГРАММ СПУТНИКОВОГО ТЕЛЕВИДЕНИЯ И РАДИОВЕЩАНИЯ

Издательство «Радио и связь»



Основана в 1947 году
Выпуск 1198

Ю. А. Ковалгин
М. А. Сергеев

СТЕРЕОФОНИЧЕСКИЕ ТРАКТЫ ПРИЕМНИКОВ ПРОГРАММ СПУТНИКОВОГО ТЕЛЕВИДЕНИЯ И РАДИОВЕЩАНИЯ



Москва «Радио и связь»
1993

ББК 32.884.8
К56
УДК 681.84.081 : 621.376.56

Федеральная целевая программа книгоиздания России

Ковалгин Ю. А., Сергеев М. А.
К56 Стереофонические тракты приемников программ спутникового телевидения и радиовещания. — М.: Радио и связь, 1993. — 32 с., ил.: — (Массовая радиобиблиотека; Вып. 1198).

ISBN 5-256-01162-6.

Рассматриваются структурные схемы звуковых трактов приемников программ спутникового телевидения и радиовещания, предназначенных для выделения, детектирования и последующей обработки сигналов стереофонического звукосопровождения телевидения и радиовещания, передаваемых в формате Wegener/Panda-1. Приводятся принципиальные схемы тракта в целом, варианты выполнения отдельных его узлов, а также устройств дополнительной обработки стереофонических сигналов, позволяющих существенно повысить качество воспроизведения стандартных двухканальных фонограмм, включая системы звуковоспроизведения с общим каналом низших частот. Даются рекомендации по изготовлению и настройке представленных в книге устройств.

Для широкого круга радиолюбителей.

К $\frac{2302020200\text{-}057}{046(01)\text{-}93}$ 27-93 **ББК 32.884.8**

Производственное издание

Массовая радиобиблиотека. Вып. 1198

Ковалгин Юрий Алексеевич, **Сергеев** Михаил Антонович

СТЕРЕОФОНИЧЕСКИЕ ТРАКТЫ ПРИЕМНИКОВ ПРОГРАММ СПУТНИКОВОГО ТЕЛЕВИДЕНИЯ И РАДИОВЕЩАНИЯ

Редактор *В. Н. Вяльцев.*
Художественно-технический редактор *Т. Г. Родина.* Корректор *Н. В. Козлова*

ИБ № 2574

Сдано в набор 07.04.93 Подписано в печать 26.04.93
Формат 60×90 1/16 Бумага офсетная № 2 Гарнитура литературная Печать высокая
Усл. печ. л. 2,0 Усл. кр.-отт. 2,38 Уч.-изд. л. 2,57 Тираж 15 000 экз.
Изд. № 23787 Зак. № 38 С-057

Издательство «Радио и связь». 101000 Москва, Почтамт, а/я 693
Типография издательства «Радио и связь». 101000 Москва, Почтамт, а/я 693

ISBN 5-256-01162-6

ВВЕДЕНИЕ

Установки для приема программ непосредственного спутникового телевизионного вещания (НТВ) перестали быть редкостью. В настоящее время отечественная промышленность выпускает около 10 000 тюнеров в месяц. В системах НТВ (например, EUTELSAT, INTELSAT, ASTRA и т. д.) на дополнительных поднесущих 7,02; 7,2; 7,38; 7,56 ... МГц может передаваться различная информация:

сигналы стереофонического сопровождения телевидения в цифровом (NICAM) или аналоговом (Wegener/Panda-1) виде;

сигналы стереофонического радиовещания (Wegener/Panda-1);

данные в цифровом виде (Wegener 1600, Wegener 2000).

Цифровая система NICAM обеспечивает качество передачи сигналов, эквивалентное качеству проигрывателя компакт-дисков (КД), но и сложность декодирующего устройства не уступает сложности проигрывателя КД. В радиолюбительских условиях повторение такого устройства проблематично. Стоимость комплекта интегральных схем (фазовый детектор, декодер и цифро-аналоговый преобразователь) для приема сигналов системы NICAM составляет 25 долларов, и можно ожидать, что в скором будущем появятся отечественные тюнеры с цифровым каналом звукового сопровождения. Сегодня представляет интерес прием сигналов аналогового стереофонического сопровождения телевидения и стереофонического радиовещания, передаваемых в формате Wegener/Panda-1 на дополнительных поднесущих [2, 3]. На рис. 1 приведен спектр полного телевизионного сигнала с дополнительными поднесущими Wegener/Panda-1. Поднесущая 6,5 (6,65) МГц используется для передачи монофонического сигнала звукового сопровождения телевидения.

Поднесущие с частотами 7,02 и 7,20 МГц предназначены для передачи сигналов стереофонического сопровождения телевидения. На поднесущих 7,38 и 7,56 МГц передаются стереофонические сигналы информационно-развлекательной программы радиовещания. Девиация частоты дополнительных поднесущих составляет 50 кГц. Эти поднесущие могут использоваться также для синхронного вещания на нескольких языках, например английском, немецком, французском и голландском (канал SPORT, спутник ASTRA).

Звуковые сигналы передаются в аналоговой форме методом частотной модуляции. Для повышения помехозащищенности сигналов, передаваемых на дополнительных поднесущих, используется компандерная система шумопонижения Panda-1, которая позволяет получать выигрыш в помехозащищенности сигналов до 20 дБ. Метод частотной модуляции в сочетании с эффективной компандерной системой шумопонижения позволяет получить высокое качество передачи звуковых сигналов, лучшее, чем в УКВ ЧМ радиовещания.

Для воспроизведения сигналов стереофонического сопровождения телевидения или радиовещания в тюнере необходимо иметь стереофонический тракт,

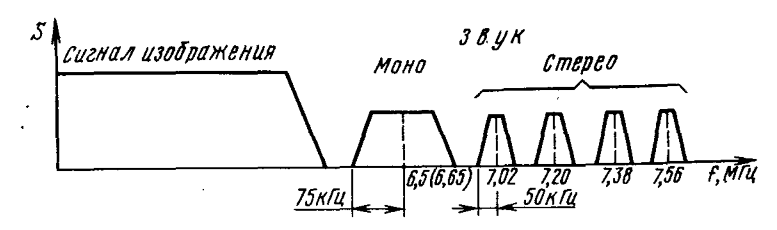


Рис. 1. Спектр полного телевизионного сигнала с дополнительными поднесущими Wegener/Panda-1

включающий в себя устройство выбора и выделения (фильтрации) дополнительных поднесущих, двухканальный частотный детектор, экспандер системы шумопонижения.

Если тюнер монофонический, то стереотракт может быть реализован как отдельное устройство. Тюнер со стереофоническим трактом (рис. 2) содержит следующие основные блоки:

RF — тракт радиочастот, включающий усилитель первой промежуточной частоты, генератор гетеродина, смеситель, усилитель второй промежуточной частоты и частотный детектор;

Z1 — фильтр коррекции частотных предыскажений видеосигнала;

NF — аудиотракт, содержащий полосовой фильтр для выделения поднесущих звуковых сигналов, частотный детектор монофонической поднесущей 6,5 (6,65) МГц, блок выделения и детектирования поднесущих стереофонических сигналов, экспандер системы шумопонижения Panda-1;

RM — ремодулятор, формирующий полный телевизионный сигнал, который можно подавать на антенный вход телевизора;

БУ — блок управления тюнером, обеспечивающий выбор канала (программы), управление поляризатором и устройством позиционирования антенны, выбор канала звукового сопровождения и режима работы звукового тракта (моно или стерео);

ДУ — блок дистанционного управления тюнером.

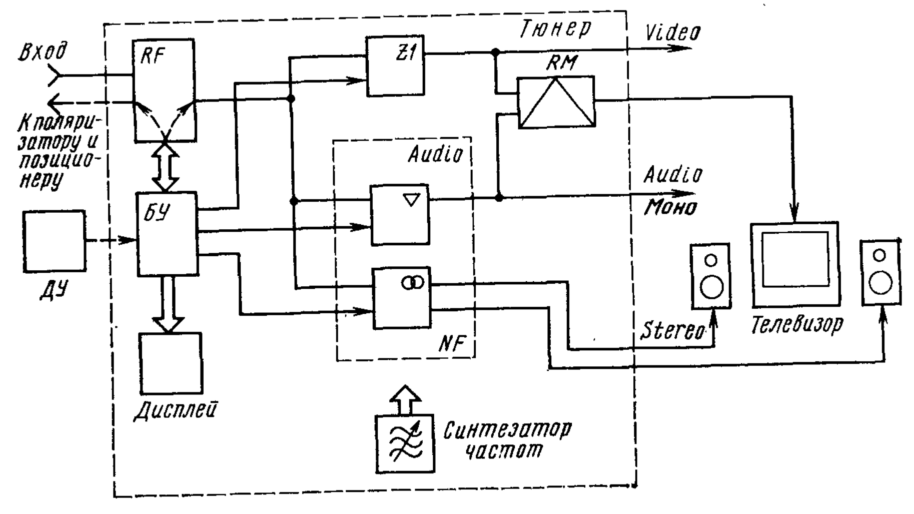


Рис. 2. Приемник сигналов непосредственного спутникового телевизионного вещания со стереофоническим сопровождением

Новые модели тюнеров имеют цифровой синтезатор частоты, обеспечивающий точную настройку на нужную программу и выбор поднесущих звукового сопровождения. В массовых моделях используется плавная электронная настройка с помощью варикапов. Тюнер может содержать дисплей, отображающий режим его работы. Чаще необходимая информация о режиме работы тюнера по запросу пользователя вводится в видеосигнал и отображается на экране телевизора в виде символов или текста.

С выхода VIDEO тюнера сигнал изображения подается на видеовход телевизора, с выхода AUDIO сигналы левого и правого каналов подаются на вход стереофонического усилителя и далее на громкоговорители.

До сих пор речь шла о так называемой традиционной стереофонической системе с двумя каналами передачи звуковых сигналов и двумя громкоговорителями. Возможности такой системы для повышения объемности и пространственности звучания практически исчерпаны. Радикальным средством повышения объемности звучания является введение дополнительного канала передачи и громкоговорителей для воспроизведения сигналов реверберационного процесса. В перспективных системах телевидения (HDTV) предусматривается увеличение числа каналов передачи сигналов звукового сопровождения. В существующих же бытовых системах, в том числе спутниковых и видеозаписи (S-VHS), используются только два канала передачи.

Наибольший эффект повышения качества звучания в системе с двумя каналами передачи звуковых сигналов достигается при воспроизведении через адаптивное декодирующее устройство специально подготовленных фонограмм матричных стереофонических систем [5—7]. В системах матричной стереофонии при записи дополнительные сигналы для питания тыловых громкоговорителей в кодированном виде добавляются в сигналы двухканальной фонограммы. При воспроизведении специальное декодирующее устройство восстанавливает эти сигналы. Из систем этого класса широкое распространение получила матричная стереофоническая система, разработанная лабораторией DOLBY [5, 6]. К настоящему времени выпущено более 1000 кинофильмов со звуковым сопровождением в формате матричной стереофонической системы Dolby-Stereo. На рынке бытовой аппаратуры сегодня предоставлено около 100 моделей декодирующих устройств (Dolby-Stereo, Dolby Pro Logic, Dolby Surround) различного качества и сложности: от простейших аналоговых до устройств с цифровой обработкой сигналов. К сожалению, видеоматериалы со стереофонической фонограммой Dolby-Stereo (не следует путать с системой шумопонижения Dolby) пока малодоступны для широкого круга зрителей, поэтому принципиальные схемы декодирующих устройств для их воспроизведения не приводятся в настоящем издании.

При воспроизведении сигналов стандартной стереофонической фонограммы для повышения объемности и пространственности звучания используют синтезатор пространственного звучания (Surround Processor). В настоящем издании рассмотрены несколько вариантов построения синтезатора пространственного звучания, которыми может быть дополнена традиционная стереофоническая система воспроизведения. Устройства доступны для повторения и могут быть использованы широким кругом радиолюбителей.

1. СТРУКТУРА СТЕРЕОФОНИЧЕСКОГО ТРАКТА ТЮНЕРА НТВ

Стереофонический тракт тюнера НТВ (рис. 3) реализуется обычно по принципу супергетеродинного приемника двумя параллельными трактами промежуточной частоты (ПЧ). Центральные частоты трактов различаются на 180 кГц.

Фильтр Z1 выделяет поднесущие стереосопровождения. С помощью генератора G1 и смесителя U1 поднесущие стереосопровождения транспонируются на ПЧ (обычно 10,7 и 10,52 МГц). Выделенные полосовыми фильтрами Z2.1 и Z2.2 сигналы поднесущих звука подаются на вход двухканального частотного детектора U2. Выходные сигналы детектора подаются на вход двухканального экспандера системы шумопонижения U3 и далее поступают на коммутатор S1. В режиме «стерео» на выходы тракта подаются сигналы каналов *A* и *B*, при приеме многоязыкового сопровождения ТВ на выходы *A* и *B* тюнера подаются сигналы одного из каналов по выбору слушателя.

Сигналы для управления генератором G1 (выбор пары поднесущих) и коммутатором S1 (моно/стерео) формируются в блоке управления тюнером.

В высококачественных моделях тюнеров управление осуществляется по системной шине; для настройки используется цифровой синтез частот. Звуковой тракт обеспечивает прием поднесущих в диапазоне 5...9 МГц. Поскольку поднесущая монофонического сигнала (обычно 6,5 или 6,65 МГц) имеет девиацию ±75 кГц, а дополнительные поднесущие стереосопровождения ±50 кГц, при перестройке звукового блока с основной поднесущей на дополнительные необходимо изменять полосу пропускания фильтров ПЧ.

В радиолюбительских условиях создание такого устройства сопряжено с серьезными трудностями. Проще изготовить стереофонический тракт в виде отдельного блока с простейшим управлением.

Рассмотрим подробнее назначение основных узлов стереофонического тракта тюнера НТВ.

Входной полосовой фильтр Z2. На вход стереофонического тракта тюнера необходимо подавать некорректированный полный телевизионный сигнал непосредственно с выхода частотного детектора.

Сигналы дополнительных поднесущих имеют уровень примерно на 20 дБ ниже, чем уровень сигнала изображения. Если на вход смесителя U1 подать полный видеосигнал, то сигнал изображения вследствие нелинейных эффектов в смесителе U1 создаст помехи в полосе частот дополнительных поднесущих. В результате резко возрастает уровень шумов и помех в выходных сигналах частотных детекторов U2.1 и U2.2. Для нормальной работы системы фильтр Z2 должен обеспечить подавление не менее чем на 10 дБ на частоте 6 МГц и около 25 дБ на частоте цветовой поднесущей (4,43 МГц).

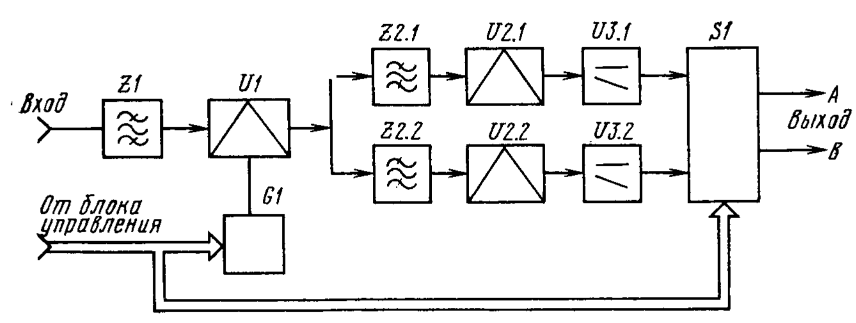


Рис. 3. Структурная схема стереофонического тракта тюнера НТВ

Генератор гетеродина G1. С помощью гетеродина G1 осуществляется настройка на нужную пару поднесущих. Удобно в качестве гетеродина использовать синтезатор частот с предварительным программированием. В радиолюбительских условиях проще использовать плавную электронную настройку с помощью варикапа. Обычно частота генератора G1 выше промежуточной. Зеркальный канал в этом случае попадает в полосу частот 28...30 МГц. Помехи от сигнала изображения в этой полосе частот незначительны, помехи же от внешних источников существенно ослабляются экранирующим действием корпуса тюнера.

При промежуточных частотах тракта ПЧ 10,52 и 10,70 МГц генератор гетеродина G1 должен перекрывать диапазон частот от 10,52+7,02=17,54 МГц до 10,70+7,56=18,26 МГц.

Частоты соседних дополнительных поднесущих различаются на 180 кГц; полоса частот, занимаемая ЧМ-сигналом на каждой из них равна 130 кГц при полосе модулирующего сигнала 15 кГц и максимальной девиации частоты 50 кГц. Для исключения взаимных помех от соседних поднесущих и искажений, вызываемых неточной настройкой, необходимо иметь точность установки частоты генератора гетеродина G1 не хуже 10 кГц. Такая точность легко реализуется, если в LC-генератор, перестраиваемый варикапом, ввести автоподстройку частоты.

Смеситель U1. Особых требований к смесителю не предъявляется. Конструкция в целом будет проще, если смеситель не вносит большого затухания. Такое устройство легко может быть реализовано на основе перемножителя сигналов, например интегральной схемы (ИС) типа К174ПС1.

Полосовые фильтры Z3.1 и Z3.2. Полосовые фильтры обеспечивают разделение сигналов поднесущих и существенно влияют на качественные показатели тракта. Сигнал поднесущей стереофонического сопровождения имеет полосу частот до 130 кГц. Частотный разнос между соседними поднесущими составляет 180 кГц, т. е. фильтр должен обеспечивать пропускание сигналов в полосе ±65 кГц относительно центральной частоты и подавление сигналов, отстоящих от центральной частоты на 115 кГц. Необходимое подавление в полосе задерживания определяется требованиями к переходным помехам от соседних каналов.

Для обеспечения разделимости соседних каналов 60 дБ полосовые фильтры Z2.1 и Z2.2 должны вносить затухание 40...45 дБ при отстройке от центральной частоты на 115 кГц при применении частотного детектора на основе фазосдвигающего контура.

Частотный детектор на основе фазосдвигающего контура имеет собственную избирательность около 15 дБ при отстройке на 180 кГц от центральной частоты. Для обеспечения требуемой селективности используют обычно каскадное включение двух пьезокерамических фильтров. В том случае, когда в качестве детектора применяется устройство с высокой собственной селективностью, например синхронно-фазовый детектор (СФД), требования к полосовым фильтрам могут быть ослаблены. В этом случае достаточно подавление сигналов со-

седией поднесущей на 15...20 дБ. Такая фильтрация обеспечивается обычным двухконтурным LC-фильтром или одним пьезокерамическим типа ФП1П6-515.

Использование при передаче звуковых сигналов эффективной компандерной системы шумоподавления повышает защищенность сигнала от помех и шумов примерно на 20 дБ (в паузе). Если частотный детектор обеспечивает подавление помех от сигналов соседних поднесущих на 40...50 дБ, то сигналы соседних каналов на слух незаметны.

Частотный детектор U2. В стереофоническом тракте используются двухканальный частотный детектор U2.1 и U2.2. Для обеспечения идентичности каналов воспроизведения характеристики частотных детекторов должны быть одинаковыми. Рассогласование амплитудно-частотных характеристик не должно превышать 0,5 дБ в полосе частот 100...100 000 Гц. Нелинейные искажения не должны превышать 1%. Уровень собственных шумов и помех в полосе частот 30...15 000 Гц не должен быть выше —60...—50 дБ при измерении с фильтром МЭК типа «А» без цепи коррекции предыскажений.

Экспандер системы шумопонижения U3. В стереофоническом тракте тюнера НТВ необходим экспандер, обеспечивающий адекватную обработку сигналов системы шумопонижения Panda-1. В противном случае не удается обеспечить приемлемое качество звучания. Допустимы отклонения амплитудно-частотной характеристики от требуемой до 2 дБ в полосе частот 100...10 000 Гц при уровнях сигналов от —35 относительно номинального до 0 дБ. Допустимо рассогласование АЧХ каналов до 1 дБ в указанном диапазоне частот. Уровень собственных шумов тракта не должен превышать —70 дБ.

2. ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СХЕМА СТЕРЕОФОНИЧЕСКОГО ТРАКТА ТЮНЕРА НТВ

Стереофонический тракт тюнера НТВ (рис. 4) содержит входной полосовой фильтр Z1, генератор гетеродина G1 со смесителями U1, фильтры ПЧ, двухканальный частотный детектор U2, двухканальный экспандер системы шумопонижении U3.

Входной согласующий усилитель реализован на транзисторе VT1, элементы L1—L3, C3—C5 образуют полосовой фильтр, выделяющий сигналы дополнительных поднесущих.

На интегральной схеме DA1 (К174ПС1) реализованы генератор гетеродина и смеситель. Частота генератора определяется номиналами элементов C7—C10, L4 и емкостью варикапа VD1. Через цепь R10, R11, C11 с подстроечных резисторов R8 и R9 подается на варикап VD1 управляющее напряжение для надстройки тракта на нужную пару поднесущих. Настройка фиксирована на две пары поднесущих — 7,02/7,20 или 7,38/7,56 МГц.

Выходной сигнал смесителя (вывод 3 DA1 типа К174ПС1) подается через буферный каскад (транзистор VT3) на фильтр ПЧ канала *A* ZQ1, а с выхода буферного каскада (транзистор VT2) — на фильтр ПЧ канала *B*.

Стереофонический тракт имеет в каждом канале частотный детектор и экспандер системы шумопонижения. Каналы идентичны (на рис. 4 приведена схема канала *A*).

В стереофоническом тракте используется синхронно-фазовый детектор. На интегральной схеме DA2 типа К174ХА6 реализованы амплитудный ограничитель и фазовый детектор. Управляемый напряжением генератор реализован на транзисторе VT4. Элементы R21, R23, C20 — пропорционально-интегрирующий фильтр в цепи обратной связи СФД.

Активный RC-фильтр низких частот (ФНЧ) на транзисторе VT6 обеспечивает подавление спектральных составляющих выходного сигнала частотного детектора на частотах выше 15 кГц. Амплитудно-частотная характеристика фильтра определяется соотношением номиналов элементов R29, R31 и C25, C26. Эмиттерный повторитель (VT4) обеспечивает согласование частотного детектора с ФНЧ.

С выхода ФНЧ звуковой сигнал подается на экспандер, реализованный как управляемый пропорционально-интегрирующий фильтр на DA3 (К157ХП3). Входной сигнал подается на интегральную схему DA3 через разделительный конденсатор C27 и делитель напряжения R33, R34. Элементами микросхемы К157ХП3 и цепью R38, C32 образован управляемый пропорционально-интегрирующий фильтр. С выхода DA3 через цепь коррекции предыскажений R39, C33 сигнал подается на выход устройства. Резистор R36 и конденсаторы C29, C30 определяют постоянные времени цепи заряда и разряда выпрямленного напряжения в канале управления. Конденсаторы C34 и C36 предназначены для фильтрации помех в шинах питания. При замыкании S2 экспандер выключается.

Подбором резисторов R40 и R41 можно откорректировать АЧХ, что может потребоваться вследствие технологического разброса параметров ИС типа К157ХП3. Резистор R40 служит для коррекции АЧХ на высоких уровнях входного сигнала, резистор R41 — на низких.

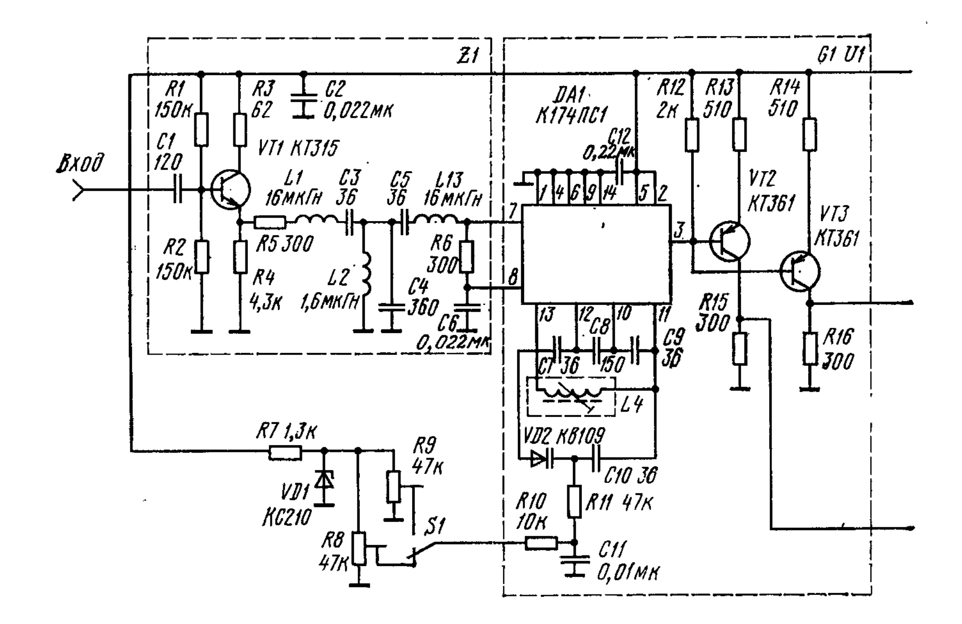
Для упрощения устройства исключена автоматическая подстройка частоты гетеродина. При изготовлении необходимо принять меры для стабилизации частоты гетеродина: обмотка катушки генератора и подстроечный сердечник должны быть надежно фиксированы, конденсаторы генератора должны иметь достаточную стабильность.

Синхронный детектор, использованный в данной схеме, имеет высокую защищенность от помех по соседнему каналу, поэтому к фильтру ПЧ требования не очень жесткие. Можно использовать, например, пьезофильтры ФП1П6-1.1 и ФП1П6-1.2 с отбором по полосе пропускания и средней частоте с разносом центральных частот 180 кГц или двухконтурные LC-фильтры.

В качестве индуктивностей L1—L3 использованы дроссели типа ДМ-0,1; катушка L4 и трансформатор L5, L6 выполнены на полистироловых каркасах диаметром 5 мм. Сердечник ферритовый, его магнитная проницаемость равна 100. Катушка L4 содержит 20, L5—1,5, L—30 витков провода ПЭВ-2 диаметром 0,12 мм.

Шунтирующие и разделительные конденсаторы (C1, C2, C6, C11 — C13, C18, C35) могут быть любого типа, например КМ5, КМ6, КЛС. В ФНЧ (C25, C26) и экспандере (C32, C33) следует использовать конденсаторы с точностью не хуже 5%, например, пленочные типа К71-7, К73-17. Конденсаторы C28—C31 — керамические, с группой ТКЕ не хуже Н30; электролитические конденсаторы — типа К50-16 на напряжение не менее 16 В или аналогичные. Остальные конденсаторы — типа КТ, КД, КМ или аналогичные с точностью 5%.

В качестве транзисторов VT1—VT4 можно применить любые кремниевые соответствующей проводимости с граничной частотой не менее 100 МГц. Тран-



зисторы VT5, VT6 — любые с коэффициентом усиления по току не менее 50 и допустимым напряжением коллектор—база не менее 30 В.

Резисторы R29, R31, R38, R39 в каналах *А* и *В* должны быть идентичными, допустимое отличие 2%, остальные резисторы могут иметь отклонение 5%, мощность рассеяния резисторов 0,125 Вт.

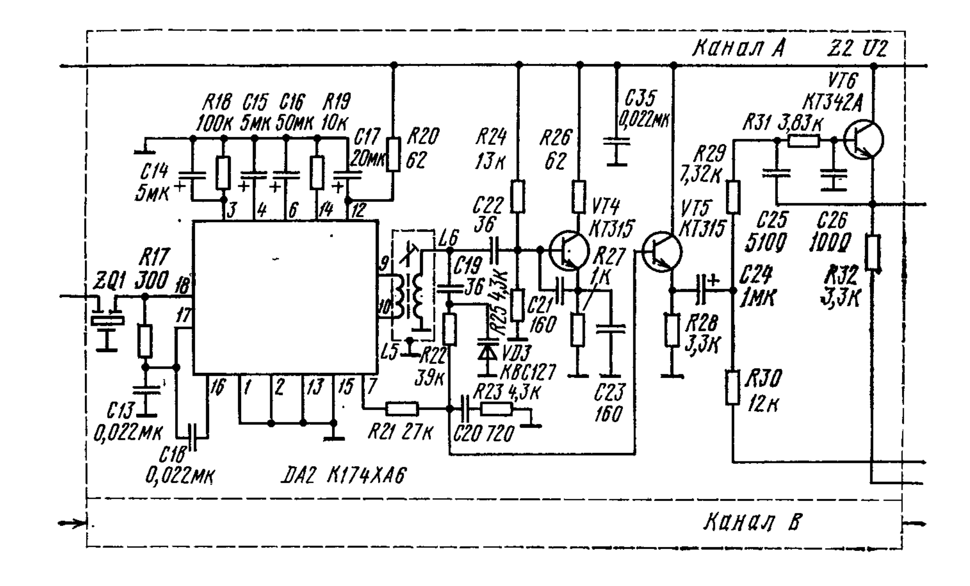
Для питания тракта необходим источник +15 В с током 50 мА и источник —15 В с током 20 мА. Пульсация питающих напряжений не должна превышать 1 мВ.

Настройка стереофонического тракта. Ее следует начинать с контроля работоспособности генератора гетеродина. Если он исправен, на коллекторах транзисторов VT2 и VT3 присутствует переменное напряжение с частотой гетеродина (около 18 МГц), которое можно наблюдать с помощью осциллографа.

Для настройки детектора желательно иметь генератор сигналов с частотной модуляцией, например Г4-116. На вход устройства необходимо подать с генератора сигнал с частотой 7,3 МГц (средняя частота диапазона) напряжением около 100 мВ. Установив движки подстроечных резисторов R8, R9 в среднее положение, вращением сердечника катушки L4 следует добиться появления переменного напряжения промежуточной частоты на выходе фильтра ZQ1, затем с помощью подстроечного резистора R8 настроить тракт на частоты 7,02 (канал *А*) и 7,20 (канал *В*).

Настройку детектора начинают с контроля работоспособности генератора на транзисторе VT4. В исправном устройстве при отсутствии входного сигнала на коллекторе транзистора VT4 должно быть переменное напряжение с частотой около 10 МГц.

На генераторе устанавливается девиация 50 кГц при частоте модулирующего сигнала 1 кГц. Вращая сердечник катушки L6, следует добиться синхронизации частоты генератора детектора с частотой входного сигнала. На эмиттере



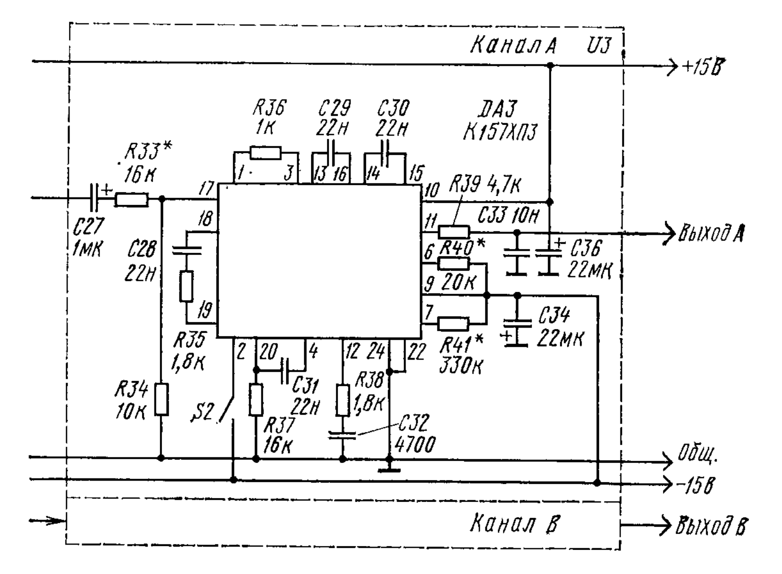


Рис. 4. Полная принципиальная электрическая схема стереофонического тракта тюнера НТВ

транзистора VT5 в этом случае будет неискаженная синусоида с частотой 1 кГц и напряжением 150 мВ.

Для настройки на вторую пару поднесущих необходимо установить на генераторе Г4—116 частоту 7,38 МГц и, переключив коммутатор S1, с помощью подстроечного резистора R9 настроить детектор канала *А* на сигнал генератора. Канал *В* при этом будет автоматически настроен на частоту 7,56 МГц.

Перед настройкой экспандера устанавливается номинальный уровень сигнала на его входе. Для этого необходимо подать на вход стереофонического тракта частотно-модулированный сигнал напряжением 10 мВ с центральной частотой 7,02 МГц и девиацией 50 кГц при частоте модулирующего сигнала 1 кГц, затем настроить с помощью потенциометра R8 канал *A* на указанную частоту и измерить напряжение на выходе экспандера. Оно должно составлять 350 мВ (—7 дБ относительно напряжения 0,775 В). Если измеренное значение напряжения отличается от 350 мВ, то необходимо подобрать резистор R33. После согласования детектора и экспандера по уровню можно приступить к настройке АЧХ экспандера. Уровни напряжения сигналов отсчитываются относительно напряжения 0,775 В, что соответствует 0 дБ по шкале милливольтметра В3-38.

Настройка экспандера производится в следующем порядке. Вместо резисторов R40 и R41 устанавливаются подстроечные резисторы 47 и 680 кОм. Конденсатор C24 выпаивается: на точку соединения резисторов R29 и R30 через разделительный конденсатор 22 мк подается сигнал с генератора звуковой частоты.

Движки подстроечных резисторов устанавливаются в среднее положение, затем подаются питающие напряжения. С помощью осциллографа контролируется постоянное напряжение на выходе экспандера (вывод 11 интегральной схемы DA3), которое должно лежать в пределах ±0,1 В. Затем устанавливают на генераторе частоту сигнала 1000 Гц. Уровень входного сигнала устанавливают таким, чтобы на выходе экспандера уровень сигнала был —7 дБ. Далее устанавливается частота 100 Гц, уровень сигнала на выходе генератора не изменяется, на выходе экспандера он должен быть —6 дБ.

Далее необходимо, не изменяя уровня, установить частоту выходного сигнала генератора 10 000 Гц. С помощью резистора R40 установить уровень сигнала на выходе экспандера —18 дБ (спад на 11 дБ относительно уровня сигнала на частоте 100 Гц).

Установить на генераторе частоту 100 Гц, уровень сигнала на выходе генератора — на 20 дБ ниже, чем в предыдущем случае. Уровень сигнала на выходе экспандера должен быть —27 дБ. Не изменяя уровня сигнала, на выходе генератора установить частоту 10 000 Гц. С помощью подстроечного резистора R41 установить уровень сигнала на выходе экспандера —55 дБ (спад на 28 дБ относительно уровня сигнала на частоте 100 Гц).

Возможно, потребуется повторить настройку, что обусловлено взаимным влиянием подстроек на низком и высоком уровнях сигнала.

При настройке экспандера второго канала необходимо обратить внимание на достижение идентичности характеристик каналов *A* и *B*. Предварительная разбраковка интегральных схем позволяет обойтись без настройки.

На рис. 5 приведены АЧХ экспандера для различных значений уровня входного сигнала: номинального и ниже номинального на 10 и 20 дБ. Здесь $N_{вых}$ — уровень сигнала на выходе экспандера, вычисленный относительно выходного напряжения на частоте 31 Гц.

Рабочая частота	7,02/7,20 МГц, 7,38/7,56 МГц
Диапазон воспроизводимых частот	30...15 000 Гц
Номинальное напряжение входного сигнала . . .	1...30 мВ
Номинальный уровень выходного сигнала на частоте 1 кГц	—7 дБ
Рассогласование характеристик каналов в рабочем диапазоне частот	Менее 1,5 дБ
Разделение каналов	Более 60 дБ
Коэффициент гармоник на частоте 1 кГц	Менее 0,5%
Относительный уровень собственных шумов (при измерении с фильтром МЭК «А»)	—72 дБ

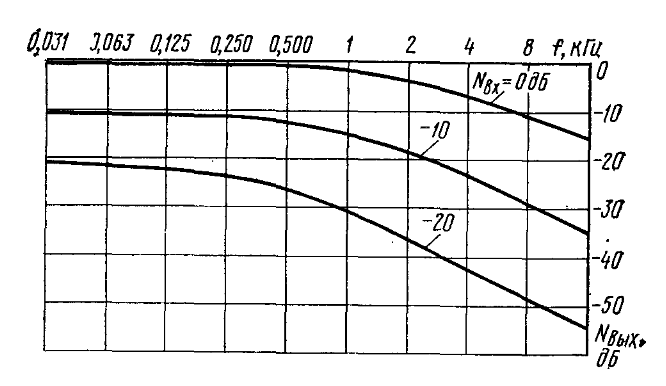


Рис. 5. Амплитудно-частотные характеристики экспандера системы шумопонижения Panda-1 с корректором частотных предыскажений:

$N_{вх}$, $N_{вых}$ — соответственно уровни входного и выходного сигналов, нормированные к номинальному; f — частота сигнала

В стереофоническом тракте (см. рис. 4) применен хорошо зарекомендовавший себя частотный детектор, используемый в тюнере NOVIK, разработанном и выпускаемом научно-производственным кооперативом «Скиф» (С.-Петербург).

3. ВАРИАНТЫ ПРИНЦИПИАЛЬНЫХ СХЕМ УЗЛОВ СТЕРЕОФОНИЧЕСКОГО ТРАКТА ТЮНЕРА НТВ

3.1. Синхронно-фазовый детектор на интегральной схеме К174ПС1

Синхронный фазовый детектор (рис. 6) реализован на ИС типа К174ПС1. На транзисторе VT3 собран параметрический стабилизатор напряжения. Транзистор VT1 типа КТ3128А обеспечивает усиление сигнала в петле ФАПЧ и стабилизацию постоянной составляющей напряжения на варикапе VD1. На транзисторе VT2 (КТ315) реализован эмиттерный повторитель, необходимый для исключения влияния последующих цепей на режим работы петли ФАПЧ. Элементы R3, R4, C8 образуют пропорционально-интегрирующий фильтр в петле ФАПЧ. На транзисторе VT4 реализован активный RC-фильтр, подавляющий высокочастотные помехи в выходном сигнале. Конденсаторы C1 и C11 — разделительные; конденсатор C5 — шунтирующий в цепи питания. Конденсатор C2 служит для замыкания по переменному току второго входа ИС DA1 (вывод 7) на общий провод.

Детали. Резисторы R3—R5, R7, R8, R10 должны иметь погрешность не более 2%. Для конденсаторов C8—C10 допустимо отклонение от номинальной емкости 5%. Транзистор VT1 должен быть высокочастотным, к остальным де-

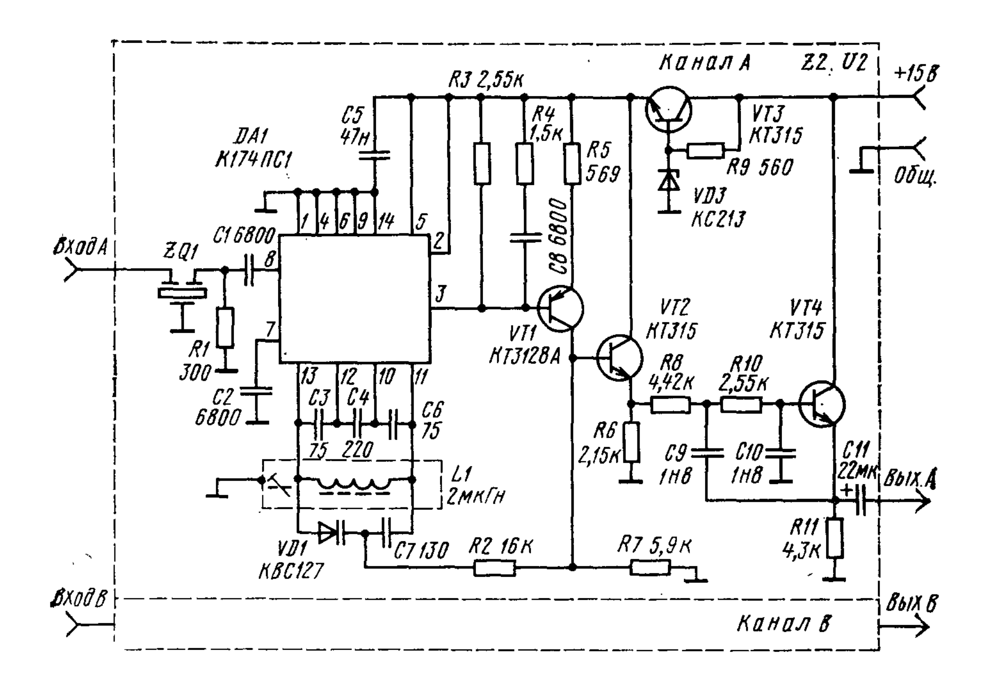


Рис. 6. Принципиальная электрическая схема синхронно-фазового детектора на ИС типа К174ПС1

талям особых требований не предъявляется. Катушка L1 намотана на полистироловом каркасе диаметром 5 мм и содержит 22 витка провода ПЭВ-2 диаметром 0,12 мм.

Рекомендации по настройке детектора. Необходимо установить на генераторе сигналов, например Г4-116, выходное напряжение 30 мВ и частоту, равную центральной частоте полосы пропускания фильтра ZQ1, например 10,7 или 10,52 МГц (девиация 50 кГц), и подать сигнал на вход детектора.

Вращением подстроечного сердечника катушки L1 добиться появления на выходе детектора устойчивой неискаженной синусоиды с частотой модулирующего сигнала. Уменьшить напряжение на выходе генератора сигналов до 10 мВ и повторить настройку. Убедиться, что при уменьшении напряжения сигнала на выходе генератора до 3 мВ обеспечивается устойчивая работа детектора.

Основные параметры качества детектора:

Номинальный диапазон частот выходных сигналов	30 Гц...15 кГц
Коэффициент гармоник на частоте 1 кГц	0,4%
Номинальное напряжение входного сигнала	10 мВ
Пределы изменения входного сигнала	3...30 мВ
Номинальный уровень выходного сигнала	—7 дБ
Рассогласование уровней выходных сигналов каналов	Менее 0,5 дБ
Относительный уровень собственных шумов в полосе 20 Гц...20 кГц	—60 дБ
Разделение каналов	Более 60 дБ

3.2. Частотный детектор на интегральной схеме К174ХА12

Устройство детектора (рис. 7) содержит собственно детектор (DA1) и активный RC-фильтр (DA2), обеспечивающий подавление высокочастотных помех и усиление выходного сигнала до требуемого уровня (—7 дБ). Интегральная схема DA1 типа К174ХА12 используется в типовом включении. Емкость корректирующего конденсатора C10 уменьшена до 100 пФ, чтобы АЧХ детектора была линейна в рабочем диапазоне частот.

Особенностью ИС типа К174ХА12 является существенная зависимость уровня ее собственных шумов от питающего напряжения. Относительный уровень собственных шумов такой ИС минимален (—40...—46 дБ) при напряжении питания 14,3...14,5 В. Транзистор VT1 в диодном включении обеспечивает получение из 15 В требуемого для питания ИС напряжения. Если имеется возможность установить требуемое напряжение питания всего устройства, то транзистор VT1 можно исключить.

Интегральная схема К174ХА12 отличается высокой чувствительностью, поэтому при разработке печатной платы следует принять меры, исключающие паразитные связи по проводам питания и общему проводу и емкостные связи.

Детали. Для получения требуемых АЧХ следует использовать в ФНЧ резисторы с точностью 2%, конденсаторы — 5%. К остальным деталям особых требований не предъявляется.

Рекомендации по настройке. Настройка устройства заключается в сопряжении с помощью подстроечного конденсатора C12 частоты управляемого генератора синхронного детектора с центральной частотой полосы пропускания фильтра ZQ1 при минимальном напряжении сигнала на входе детектора. По-

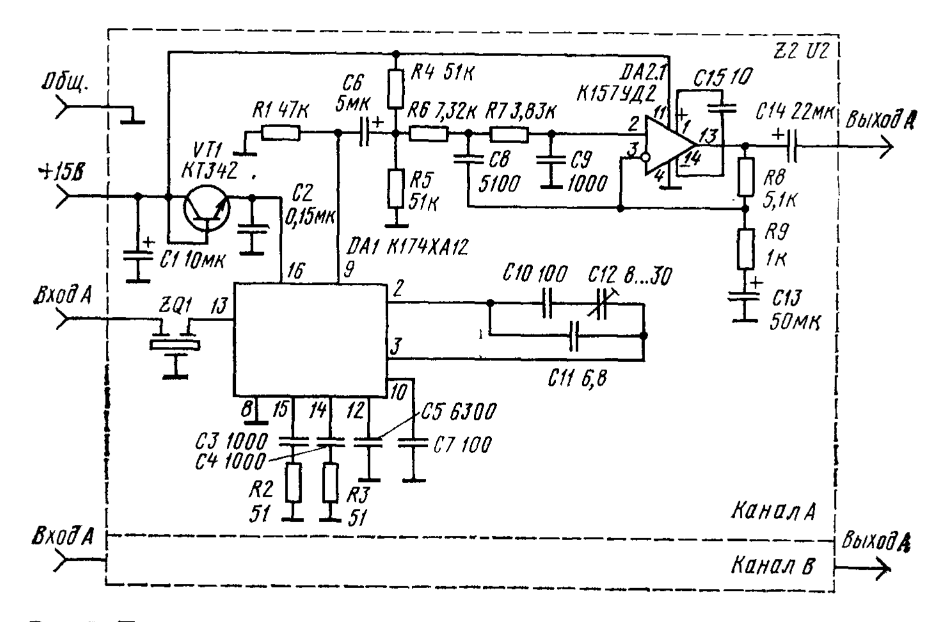


Рис. 7. Принципиальная электрическая схема синхронно-фазового детектора на ИС типа К174ХА12

скольку оба вывода C12 «горячие», при настройке следует использовать диэлектрический инструмент, а при разработке конструкции необходимо принять меры по защите от паразитных связей. Целесообразно после настройки заменить конденсаторы C10—C12 одним постоянным требуемой емкости.

Детектор должен устойчиво работать при входном сигнале 30...50 мкВ. Если синхронизация срывается при больших уровнях сигнала, можно предположить, что имеются ошибки в монтаже или частота настройки не соответствует полосе пропускания фильтра ZQ1.

Напряжение выходного сигнала детектора при необходимости изменяется путем изменения номинала резистора R8.

Номинальный диапазон частот выходных сигналов	30 Гц...15 кГц
Коэффициент гармоник при девиации 50 кГц и частоте модулирующего сигнала 1 кГц	Около 0,3%
Номинальное входное напряжение	0,5...30 мВ
Уровень выходного сигнала при девиации 50 кГц	—7 дБ
Рассогласование уровней сигналов в каналах	Менее 1 дБ
Относительный уровень шумов	Менее —40 дБ
Подавление соседнего канала	Более 55 дБ

3.3. Частотный детектор на интегральной схеме К174УР4

В простых вариантах трактов можно применить обычный детектор с фазосдвигающим контуром, выполненный на основе ИС DA1 типа К174УР4 (рис. 8). В том случае необходимо иметь фильтры ПЧ с хорошим подавлением соседнего канала (например, два каскадно включенных фильтра типа ФП1П6—1.2). Может потребоваться подбор этих фильтров для получения нужной полосы пропускания (130 кГц) с необходимым разносом средних частот (180 кГц). Если на выходе детектора помехи от соседних поднесущих имеют относительный уровень ниже —50 дБ, то с учетом действия экспандера обеспечивается их незаметность.

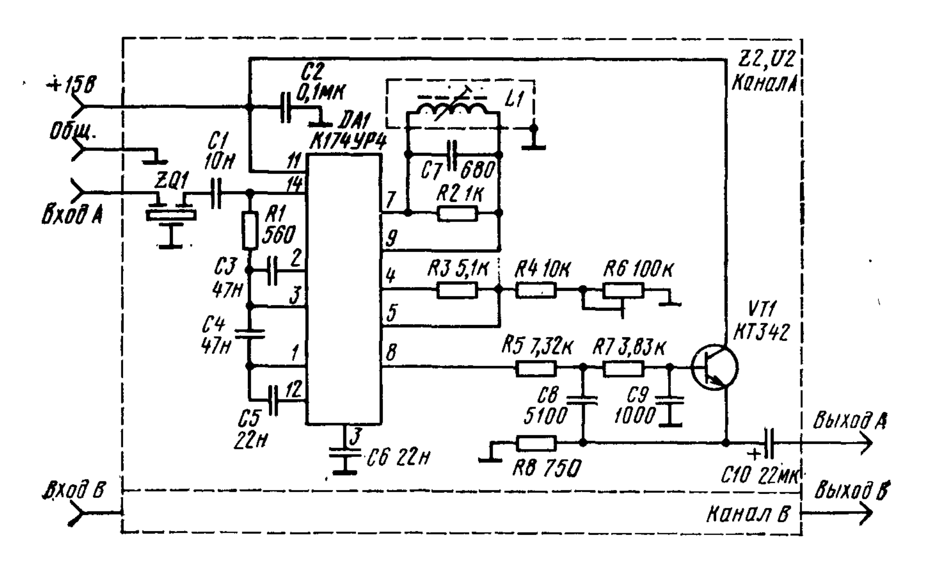


Рис. 8. Принципиальная электрическая схема частотного детектора на ИС типа К174УР4

Через фильтр промежуточной частоты ZQ1 выделенный сигнал поднесущей подается на вход интегральной схемы DA1 типа К174УР4. Выходной сигнал детектора с вывода 8 DA1 подается на ФНЧ (реализован на транзисторе VT1 типа КТ315), необходимый для подавления высокочастотных помех.

Настройка детектора. Она заключается в сопряжении резонансной частоты фазосдвигающего контура L1C7 с центральной частотой фильтра ZQ1 и установке требуемого уровня сигнала на выходе. Вращением подстроечного сердечника катушки L1 добиваются минимума нелинейных искажений выходного сигнала детектора. С помощью подстроечного резистора R6 устанавливают уровень выходного сигнала равным —7 дБ при девиации входного сигнала 50 кГц.

Основные технические характеристики детектора:

Номинальный диапазон частот выходных сигналов	30 Гц...15 кГц
Коэффициент гармоник при девиации 50 кГц и частоте модулирующего сигнала 1 кГц	Около 1%
Чувствительность	1 мВ
Уровень выходного сигнала при девиации 50 кГц	—7 дБ
Подавление соседнего канала	Более 40 дБ
Относительный уровень шумов	Менее —60 дБ
Рассогласование уровней сигналов в каналах	Менее 1 дБ

3.4. Экспандер системы шумопонижения на интегральной схеме К547КП1Г

Экспандер (рис. 9) представляет собой управляемый пропорционально-интегрирующий фильтр. На операционном усилителе DA1 реализован буферный усилитель. Полевые транзисторы, входящие в состав интегральной схемы DA5, использованы в управляемом пропорционально-интегрирующем фильтре (DA5.1) и в управляемом делителе (DA5.2). Вторая пара транзисторов интегральной схемы К547КП1Г используется во втором канале. Интегральная схема DA2 выполняет роль усилителя и корректора частотных предыскажений. Интегральная

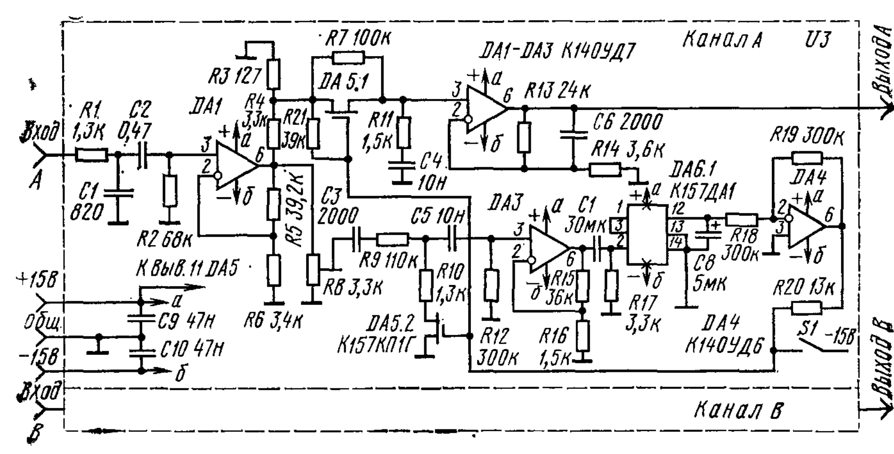


Рис. 9. Экспандер системы шумопонижения на основе схемы К547КП1Г

микросхема DA3 обеспечивает усиление выходного сигнала управляемого делителя напряжения до величины 1...3 В, что необходимо для нормальной работы выпрямителя DA6.1 типа К157ДА1. Второй выпрямитель, входящий в состав интегральной схемы DA6 типа К157ДА1, используется в канале В. Каскад на DA4 обеспечивает получение управляющего напряжения требуемой (отрицательной) полярности. Конденсаторы С2, С3, С5, С7 — разделительные; С9, С10 — шунтирующие в цепях питания.

Амплитудно-частотные характеристики управляемого фильтра определяются сопротивлением канала полевого транзистора DA5.2 и номиналами элементов R7, R11 и С4. С помощью S1 экспандер выключается.

Работа экспандера. Входной сигнал усиливается каскадом на DA1. С выхода DA1 обрабатываемый сигнал подается через делитель R3, R4 на управляемый фильтр и через конденсатор С3 на управляемый делитель напряжения R9, R10 DA5.2. Выходной сигнал управляемого делителя через разделительный конденсатор С5 подается на усилитель DA3 и через разделительный конденсатор С7 — на выпрямитель DA6.1. Выпрямленное напряжение сглаживается конденсатором С8. Выходное напряжение DA6.1 имеет положительную полярность. Каскад на DA4 изменяет полярность сигнала на отрицательную. При увеличении напряжения входного сигнала увеличивается напряжение на входе выпрямителя DA6.1. Выходное напряжение DA4 понижается, что приводит к отпиранию полевого транзистора DA5.2 и к снижению коэффициента передачи управляемого делителя. Одновременно отпирается полевой транзистор DA5.1 и повышается частота среза пропорционально-интегрирующего фильтра в цепи обрабатываемого сигнала. При снижении уровня сигнала на входе экспандера повышается коэффициент передачи управляемого делителя и понижается частота среза управляемого фильтра. Высокочастотные составляющие обрабатываемого звукового сигнала будут ослаблены тем больше, чем выше их частота и ниже уровень.

Детали. Для обеспечения идентичности характеристик каналов экспандера необходимо резисторы R3, R4, R10, R11 и R13 подобрать с точностью не хуже 2% или использовать точные резисторы. Конденсаторы С4 и С6 должны иметь точность не хуже 5%, С3—10%. Конденсаторы С7 и С8 — электролитические типа К50-16 или К50-35 с рабочим напряжением не менее 16 В. Остальные конденсаторы могут быть любого типа. Резисторы — типа МЛТ-0,125 с точностью 5 или 10%.

Настройка экспандера. Она обеспечивает точную установку номинального уровня входного сигнала, необходимую для устранения влияния технологического разброса характеристик полевых транзисторов интегральной схемы К547КП1Г и коэффициента передачи сигналов интегральной схемы выпрямителя К157ДА1.

Рассмотрим порядок настройки. Установить движок подстроечного резистора R8 в среднее положение, подать питающие напряжения. На вход экспандера подать сигнал с частотой 1000 Гц и напряжением 0,1 В. С помощью осциллографа убедиться в отсутствии самовозбуждения петли отрицательной обратной связи по огибающей сигнала (транзистор DA5.2, операционный усилитель DA3, выпрямитель DA6.1, инвертор DA4). Для этого контролируется форма сигнала на выходе операционного усилителя DA3. В нормально работающем устройстве на выходе DA3 должен быть синусоидальный сигнал с частотой 1000 Гц и напря-

жением 1...3 В. При изменении напряжения входного сигнала от 3 до 100 мВ выходное напряжение DA3 должно меняться не более чем на 30%.

С помощью осциллографа или вольтметра постоянного напряжения необходимо проконтролировать постоянные составляющие напряжения сигналов на выходах интегральных схем при сигнале на входе 100 мВ/1000 Гц. Они должны лежать в следующих пределах:

DA1 (вывод 6)	0+/—0,1 В
DA2 (вывод 6)	0+/—0,1 В
DA3 (вывод 6)	0+/—0,3 В
DA4 (вывод 6)	—5...—8 В
DA6.1 (вывод 12)	+5...+8 В

Собственно настройка сводится к установке с помощью резистора R6 номинального уровня входного сигнала. Для этого необходимо подать на его вход сигнал с уровнем —17 дБ относительно 0,775 В с частотой 100 Гц, измерить уровень выходного напряжения и зафиксировать результат. Уровень переменного напряжения на выводе 6 DA2 должен лежать в интервале —9...—11 дБ. Затем на генераторе устанавливается частота сигнала 10 000 Гц. С помощью подстроечного резистора R6 установить спад уровня выходного сигнала на 18 дБ относительно 100 Гц.

Номинальный уровень входного сигнала	—7 дБ
Номинальный уровень выходного сигнала	0 дБ
Номинальный диапазон частот	30...15 000 Гц
Отклонение АЧХ каналов от типовой	2 дБ
Рассогласование АЧХ каналов	1 дБ
Относительный уровень собственных шумов	—70 дБ
Коэффициент гармоник	0,6%

4. ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ СТЕРЕОФОНИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

Проблема повышения качества воспроизведения стереофонических сигналов в системе передачи аудиовизуальной информации с точки зрения ощущений слушателя, возникающих при стереофоническом воспроизведении, включают в себя три важнейших элемента: разделение в пространстве кажущихся источников звука; 2) объемность и пространственность звучания; 3) естественность тембра звучания.

Рассмотрим особенности передачи пространственной информации: положения в пространстве кажущихся источников звука, объемность, пространственность звучания. В системах передачи аудиовизуальной информации звук и изображение связаны. Положение в пространстве кажущихся источников звука, составляющих стереопанораму, должно соответствовать изображению на экране телевизионного приемника. Это означает, что размеры стереопанорамы не должны существенно отличаться от размеров изображения на экране телевизора, не превышающем обычно 50...60 см по горизонтали. Расстояние же между громкоговорителями, необходимое для обеспечения полноценного восприятия стереофонического звучания, должно составлять от 2,5 до 3,5 м. При таком соотношении размеров изображения и базы громкоговорителей системы воспроизведения неизбежно разрушение связи между звуком и изображением. При уменьшении размера базы громкоговорителей до размеров изображения на экране телевизо-

ра в традиционной системе воспроизведения теряются почти все преимущества, свойственные стереофоническому звучанию. Возможный путь решения рассматриваемого противоречия — повышение объемности и пространственности звучания за счет введения в систему воспроизведения дополнительных тыловых громкоговорителей (рис. 10), расположенных в вершинах большего основания равнобедренной трапеции. При этом фронтальная пара громкоговорителей системы воспроизведения может быть расположена слева и справа в непосредственной близости от телевизионного приемника. Такое расположение громкоговорителей относительно слушателя является лучшим с точки зрения пространственного слуха человека и удобно для жилой комнаты.

Известно, что ощущение объемности и пространственности звучания зависит от соотношения интенсивностей сигналов прямых звуков и реверберационных составляющих звукового поля. Прямые звуки поступают к слушателю непосредственно от громкоговорителей системы воспроизведения по кратчайшему пути, а реверберационные составляющие (звуковые волны, отраженные от стен, пола, потолка помещения) — с множества других направлений. Пространственная структура реверберационного процесса помещения создает условия для бинауральной демаскировки отзвуков. Именно пространственная структура реверберационного процесса обеспечивает условия для его полноценного восприятия. В обычном жилом помещении относительная доля энергии звуковых волн, отраженных от его поверхностей, мала, и мало время реверберации. Реверберационные же составляющие звучания, содержащиеся в сигналах стереофонограммы, излучаются фронтальными громкоговорителями системы воспроизведения и воспринимаются слушателями из тех же самых направлений, что и сигналы прямых звуков. Это обстоятельство исключает пространственную демаскировку реверберационных составляющих сигналов фонограммы. В результате в традиционной системе стереофонического воспроизведения с двумя фронтальными громкоговорителями оказывается невозможным получение звучания с высокой объемностью и пространственностью.

Для повышения объемности и пространственности звучания обычной (некодированной) двухканальной стереофонической фонограммы в жилом помещении с малым временем реверберации можно сформировать имитацию сигналов реверберационного процесса и затем воспроизвести их дополнительными тыловыми громкоговорителями. Если в качестве тыловых использовать еще одну пару громкоговорителей такого же качества, как и фронтальные, стоимость аппаратуры удваивается. При рациональном подходе к комплектованию системы стереофонического воспроизведения удается существенно повысить качество, практически не увеличивая стоимость аппаратуры.

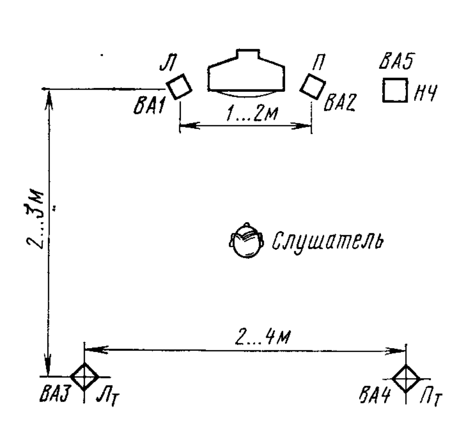


Рис. 10. Расположение громкоговорителей в помещении прослушивания «трапеция» (ВА5 — громкоговоритель общего канала низких частот)

Вниманию читателей предлагается вариант построения системы стереофонического воспроизведения, высокое качество которой достигнуто за счет психоакустического согласования. В результате удалось обеспечить высокое качество звучания при умеренной стоимости и сложности аппаратуры.

В основе концепции построения системы высококачественного воспроизведения стереофонических сигналов лежат следующие соображения:

1) для правильной передачи тембров звучания инструментов и голосов необходимо обеспечить воспроизведение сигналов в полосе частот от 20...30 Гц до 15...20 кГц;

2) правильная передача пространственной информации обеспечивается, если разнесенными в пространстве громкоговорителями воспроизводятся сигналы с частотами выше 300 Гц.

Это означает, что система воспроизведения может иметь один общий для всех каналов низкочастотный громкоговоритель, излучающий сигналы в полосе частот от 20...30 до 300 Гц, и несколько разнесенных в пространстве громкоговорителей, воспроизводящих сигналы остальной части спектра (300...
...20 000 Гц) звуковых частот.

Использование отдельного канала для воспроизведения самых низких частот позволяет существенно снизить стоимость аппаратуры звуковоспроизведения в целом, поскольку уменьшается количество дорогих низкочастотных громкоговорителей. Кроме того, упрощается размещение аппаратуры в помещении прослушивания: общий низкочастотный громкоговоритель может быть размещен в любом месте помещения, а громкоговорители, предназначенные для воспроизведения средних и верхних частот, имеют малые размеры и являются относительно дешевыми и легкими в производстве.

При выборе полосы частот, воспроизводимой общим низкочастотным каналом, необходимо учитывать не только свойства пространственного слуха человека, но и заметность искажений, возникающих в системе воспроизведения, и природу их появления. Для снижения слуховой заметности нелинейных искажений, вносимых общим низкочастотным громкоговорителем, а также интерференционных искажений, обусловленных разнесением в пространстве низкочастотного и среднечастотных громкоговорителей, необходимо понижать частоту раздела. В этом случае возникающие вследствие нелинейности низкочастотного громкоговорителя высшие гармонические составляющие воспроизводимого им сигнала будут малозаметны; интермодуляция же низкочастотными сигналами среднечастотных составляющих будет отсутствовать, поскольку на общий для всех каналов воспроизведения низкочастотный громкоговоритель эти составляющие не подаются. В литературе такой низкочастотный канал и соответствующий ему громкоговоритель обозначают термином Subwoofer. Диапазон частот, воспроизводимых этим каналом, составляет обычно от 20...30 до 80...125 Гц.

Использование общего низкочастотного канала позволило не повышая общую стоимость комплекса, увеличить число относительно дешевых малогабаритных громкоговорителей, работающих в полосе частоты свыше 80...125 Гц. Введение дополнительных тыловых громкоговорителей обеспечивает за счет более полной передачи пространственной информации существенное повышение качества звучания стандартной двухканальной стереофонической фонограммы.

На рис. 11 приведена структурная схема стереофонической системы звуковоспроизведения обычных фонограмм с повышенным качеством звучания. На вход системы подается сигнал с выхода предварительного усилителя, обеспечи-

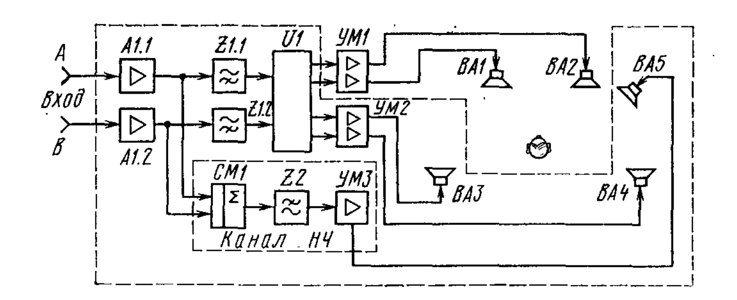


Рис. 11. Структурная схема системы стереофонического воспроизведения повышенного качества звучания

вающего регулирование громкости, тембра, баланса, выбор источника сигнала и пр. Система звуковоспроизведения содержит буферные входные каскады A1.1 и A1.2, фильтры высоких частот Z1.1 и Z1.2, сумматор сигналов СМ1, фильтр Z2, синтезатор пространственного звучания (СЗП) U1, усилители мощности фронтальных каналов УМ1, тыловых каналов УМ2 и канала низких частот УМ3 с соответствующими громкоговорителями BA1—BA5. Пунктиром на рисунке выделены устройства, отсутствующие в обычной двухканальной системе стереофонического воспроизведения.

Рассмотрим работу системы. Входные сигналы каналов *A* и *B* подаются через буферные усилители A1.1 и A1.2 на входы сумматора СМ1, выходной сигнал которого через фильтр Z2 поступает на вход усилителя УМ3 канала низких частот и далее на общий низкочастотный громкоговоритель BA5. Фильтр Z2 подавляет сигналы на частотах выше 100 Гц и компенсирует спад амплитудно-частотной характеристики громкоговорителя на низших частотах воспроизводимого диапазона — 25...50 Гц. Общий канал низких частот воспроизводит сигналы в диапазоне частот до 100 Гц.

Составляющие воспроизводимых сигналов с частотами выше 100 Гц выделяются фильтрами Z1.1 и Z1.2 и подаются на синтезатор пространственного звучания U1, который обеспечивает формирование четырех сигналов для громкоговорителей BA1—BA4 из двух сигналов фонограммы. Сигналы для фронтальных громкоговорителей усиливаются двухканальным усилителем УМ1, сигналы для тыловых громкоговорителей усиливаются тоже двухканальным усилителем УМ2, усилитель УМ3 обеспечивает усиление сигнала для громкоговорителя BA5 общего канала низких частот.

Рассмотрим специфические требования к основным узлам системы стереофонического воспроизведения с общим каналом низких частот.

Громкоговорители. Фронтальные левый и правый громкоговорители BA1 и BA2 воспроизводят сигналы от 100 до 15 000...25 000 Гц. В качестве фронтальных могут быть использованы практически любые обычные громкоговорители, имеющие приемлемую неравномерность амплитудно-частотной характеристики в указанном диапазоне частот и малые нелинейные искажения. Тыловые громкоговорители BA3 и BA4 воспроизводят сигналы имитации реверберационного процесса и должны иметь полосу воспроизводимых частот от 100 до 10 000...20 000 Гц. Возможно применение громкоговорителей с одной широкополосной головкой, например автомобильных. Особых требований к неравномерности амплитудно-частотной характеристики тыловых громкоговорителей не

предъявляется. Громкоговоритель BA5 общего низкочастотного канала должен обеспечить воспроизведение сигналов в полосе частот от 20...25 до 100 Гц. Амплитудно-частотная характеристика громкоговорителя BA5 должна быть плоской, без выбросов. Крутизна спада характеристики на низших частотах должна быть 12 дБ/окт. В этом случае громкоговоритель имеет хорошую переходную характеристику. Для исключения «бубнения» необходимо снижать полную добротность громкоговорителя до 0,6...0,7. Спад АЧХ громкоговорителя на низших частотах компенсируется корректором Z2. Поскольку нелинейные искажения на частотах ниже 100 Гц малозаметны на слух, допустимо подводить к громкоговорителю мощность, близкую к максимально допустимой.

Разделительные фильтры. Частота раздела между каналами средних и высоких частот и общим низкочастотным каналом выбирается с учетом характеристик громкоговорителей. Удобно иметь частоту раздела 80...120 Гц. При использовании разделительных фильтров второго порядка обеспечивается достаточное разделение каналов при минимальных переходных искажениях в фильтрах. Фильтр Z2 в общем канале низких частот обеспечивает еще и коррекцию спада амплитудно-частотной характеристики громкоговорителя на нижней границе воспроизводимого диапазона частот и должен обеспечить подъем АЧХ на 10...15 дБ на частотах 25...30 Гц.

Усилители. Достаточно жесткие требования предъявляются только к усилителю фронтальных каналов УМ1. Этот усилитель должен иметь малые искажения при мощности, достаточной для получения необходимого уровня звукового давления с учетом чувствительности фронтальных громкоговорителей. Обычно необходимо иметь 20...40 Вт на канал. При использовании в тыловых каналах однополосных громкоговорителей с высокой чувствительностью нормальная работа комплекса обеспечивается при мощности усилителя УМ2 5...10 Вт на канал.

Усилитель низкочастотного канала УМ3 работает на общий низкочастотный громкоговоритель, который имеет обычно низкую чувствительность. Для нормальной работы системы усилитель общего низкочастотного канала должен иметь достаточно большую мощность: 50...70 Вт.

Для усилителей тыловых каналов и общего низкочастотного требования по качеству невысокие. Вполне допустимо использовать усилители с нелинейными искажениями до 0,3...0,5%.

Синтезатор пространственного звучания. Для уменьшения маскирования сигналов тыловых громкоговорителей сигналами фронтальных громкоговорителей. Обе пары сигнала должны быть некоррелированы. Независимый кажущийся источник звука в тыловой части пространства формируется, если модуль коэффициента взаимной корреляции сигналов не превышает 0,2. Модуль коэффициента корреляции входных и выходных сигналов СПЗ не должен превышать это значение.

5. ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СХЕМА ЗВУКОВОГО ПРОЦЕССОРА

На рис. 12 приведена принципиальная схема устройства. Устройство содержит два входных буферных усилителя A1 и A2, двухканальный активный RC-фильтр высоких частот Z1, сумматор сигналов СМ1 для общего канала низ-

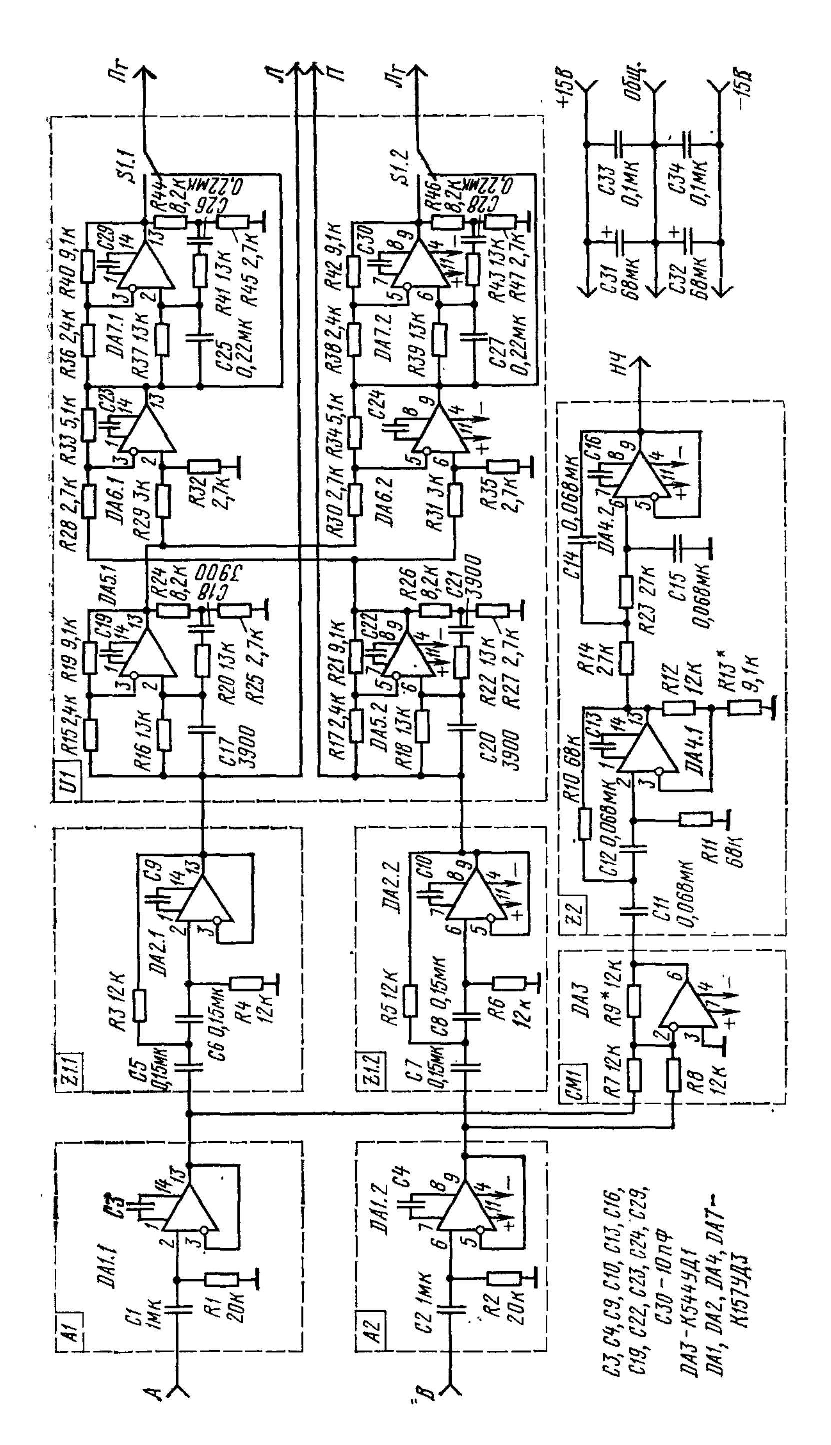


Рис. 12. Принципиальная электрическая схема звукового процессора для системы стереофонического воспроизведения повышенного качества звучания

ких частот, активный RC-фильтр низких частот и корректор амплитудно-частотной характеристики общего канала низких частот Z2, синтезатор пространственного звучания U1, формирующй сигналы для тыловых громкоговорителей.

Входной буфер реализован на интегральной схеме DA1 типа К157УД2. Входное сопротивление каскада определяется номиналом резистора R1 (R2 в канале *B*) и составляет 20 кОм.

Сумматор, формирующий сигнал для общего канала низких частот, реализован на интегральной схеме DA3 типа К140УД7. Путем изменения номинала резистора R9 в процессе настройки может быть изменен коэффициент передачи сумматора CM1.

Корректор, обеспечивающий компенсацию спада амплитудно-частотной характеристики громкоговорителя общего канала низких частот на частотах 20...60 Гц, реализован на операционном усилителе DA4.1, входящем в состав интегральной схемы DA4 типа К157УД2. Частота настройки (резонансная частота) корректора определяется номиналами элементов R10, R11, C11, C12. Поскольку R10=R11 и C11=C12, то частота настройки корректора равна 1/(6,28×R10×C11) Гц. Подъем амплитудно-частотной характеристики корректора на частоте настройки (добротность фильтра) определяется отношением номиналов резисторов R12/R13. При увеличении указанного отношения увеличиваются добротность и величина подъема амплитудно-частотной характеристики корректора на резонансной частоте.

Активный RC-фильтр низших частот второго порядка, подавляющий в сигнале общего канала низших частот спектральные составляющие с частотами выше 100 Гц, реализован на операционном усилителе DA4.2, входящем в состав интегральной схемы DA4 типа К157УД2. Частота среза фильтра определяется номиналами элементов R14, R23, C14, C15.

Двухканальный активный RC-фильтр высших частот второго порядка, подавляющий сигналы низших частот в основных каналах воспроизведения, реализован на интегральной схеме DA2 типа К157УД2. Оба канала идентичны. Рассмотрим левый канал. Частота среза фильтра определяется номиналами элементов R3, R4, C5, C6 и составляет около 100 Гц.

Синтезатор пространственного звучания, обеспечивающий формирование сигналов для тыловых каналов воспроизведения, реализован на интегральных схемах DA5—DA7 типа К157УД2. Синтезатор содержит две пары активных фазовых RC-фильтров (интегральные микросхемы DA5 и DA7) и суммарно-разностный преобразователь (DA6). Частоты настроек звеньев определяются номиналами элементов RC-цепей — R16, C17, R20, C18 в звене на DA5.1 и аналогичными элементами в остальных звеньях. С помощью переключателя S1 выбирается режим работы. Два режима работы синтезатора пространственного звучания реализуются следующим образом. В первом режиме (повышенной объемности) сигнал на тыловые каналы воспроизведения подается через коммутатор S1 с выходов суммарно-разностного преобразователя выходы операционных усилителей, входящих в состав интегральной схемы DA6 типа К157УД2). Во втором режиме (высокой объемности звучания) сигнал на тыловые каналы воспроизведения подается через коммутатор S1 с выходов второй пары фазовых фильтров, реализованных на интегральной схеме DA7 типа К157УД2. На рис. 13 приведены амплитудно-частотные, фазо-частотные характеристики и характеристика группового времени запаздывания синтезатора пространственного звучания в режиме высокой объемности звучания; на рис. 14 приведены те же характеристики в

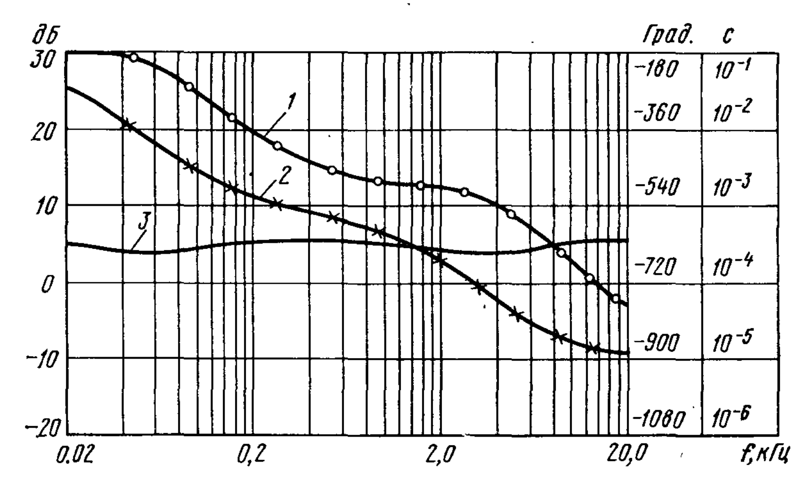


Рис. 13. Характеристики синтезатора пространственного звучания в режиме высокой объемности звучания (тыловые каналы):
1 — ФЧХ; *2* — ГВЗ; *3* — АЧХ

режиме повышенной объемности звучания. При изменении режима изменяются фазовый сдвиг и время задерживания. Конденсаторы C31 ... C34 — шунтирующие в цепях питания.

Детали. Для разделительных фильтров необходимо обеспечить рассогласование номиналов резисторов в каналах не более 2%, конденсаторов — не более 5%.

Конденсаторы C3, C4, C9, C10, C13, C16, C19, C22 — C24, C29, C30 предназначены для коррекции амплитудно-частотной характеристики операционных

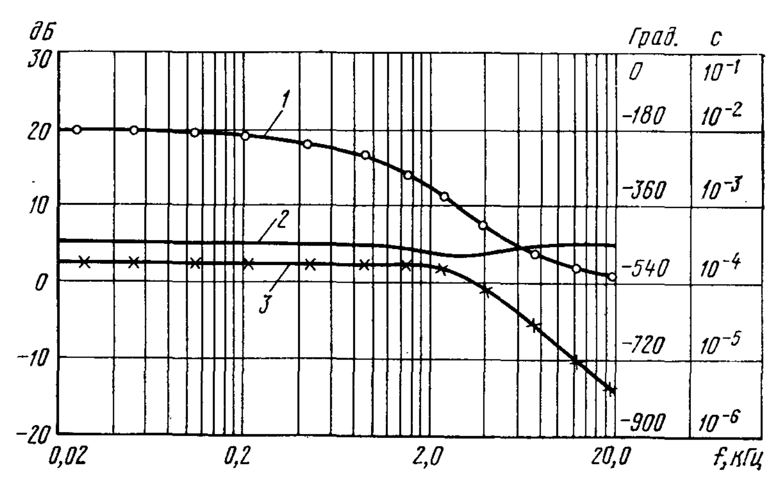


Рис. 14. Характеристики первого варианта синтезатора пространственного звучания в режиме повышенной объемности звучания (тыловые каналы):
1 — ФЧХ; *2* — ГВЗ; *3* — АЧХ

усилителей и могут иметь емкость от 10 до 20 пФ. Возможно применение конденсаторов типов КМ, КД или аналогичных с допустимым напряжением не менее 30 В. Конденсаторы C31—C34 — шунтирующие в цепях питания; C31 и C32 — электролитические типов К53-4, К53-14 или К50-16, К50-35 или аналогичные с рабочим напряжением не менее 16 В. Конденсаторы C33 и C34 — керамические типов КМ, К10-7 или пленочные типов К73-9, К73-14, К73-17 или аналогичные с рабочим напряжением не менее 63 В.

В качестве конденсаторов фильтров (C5—C8, C11, C12, C14, C15, C17, C18, C20, C21, C25—C28) желательно применять пленочные, например К71-7, К73-14, К73-17, или аналогичные с точностью не хуже 5% и рабочим напряжением не менее 63 В. При отсутствии конденсаторов с необходимыми номиналами можно изменить номиналы резисторов. Необходимо обеспечить следующие условия (значения сопротивлений в омах, емкостей в фарадах):

1) C5=C6, R3=R4, C7=C8, R5=R6, C5×R3=0,0018, 5 кОм<R3, R4, R5, R6<50 кОм;

2) C11=C12, R10=R11, C11×R10=0,0046, 5 кОм<R10, R11<150 кОм;

3) C14=C15, R14=R23, C14×R15=0,0018, 5 кОм<R14, R23<1000 кОм;

4) C17=C18, R16=R20, C20=C21, R18=R22, C17×R16=C20×R18=50×$\times 10^{-6}$, 10 кОм<R16, R18, R20, R22<30 кОм;

5) C25=C26, R37=R41, C27=C28, R39=R43, C25×R37=C27×R39=0,0029, 10 кОм<R37, R39, R41, R43<30 кОм.

В качестве операционных усилителей можно применить интегральные схемы К157УД3 (сдвоенный малошумящий операционный усилитель), К157УД2, К544УД1. При их отсутствии можно использовать практически любой операционный усилитель, корректируемый до единичного усиления. В этом случае может повыситься уровень собственных шумов и искажений.

Настройка. Собранное из исправных деталей устройство требует только согласования уровней сигналов в каналах, что обусловлено различием чувствительностей громкоговорителей фронтальных и тыловых каналов и общего канала низких частот. Настройка осуществляется следующим образом: подают питающие напряжения и с помощью осциллографа убеждаются в отсутствии самовозбуждения. При необходимости следует подобрать корректирующие конденсаторы. Подать на входы *A* и *B* от генератора сигнал с частотой 1000 Гц и уровнем 0 дБ. Измерить на выходах Л и П уровень сигнала, который должен лежать в пределах —0,5 ... +0,5 дБ. Не изменяя уровня сигнала на входе, установить частоту сигнала 70 Гц и измерить уровень сигнала на выходе НЧ. Уровень сигнала должен составить 3 ... 10 дБ.

Настройка общего канала низких частот производится следующим образом. К выходу устройства подключаются громкоговорители фронтальных каналов и общий низкочастотный громкоговоритель с усилителями мощности. На частоте 70 Гц устанавливают значение резистора R12, при котором звуковое давление, создаваемое громкоговорителем канала низких частот, равно звуковому давлению, создаваемому среднечастотным громкоговорителем в его рабочей полосе частот. При наличии необходимой аппаратуры (измерительного микрофона) корректор АЧХ канала низких частот настраивается для получения максимально широкой полосы частот по звуковому давлению. Если нет возможности контролировать АЧХ по звуковому давлению, можно использовать упрощенный вари-

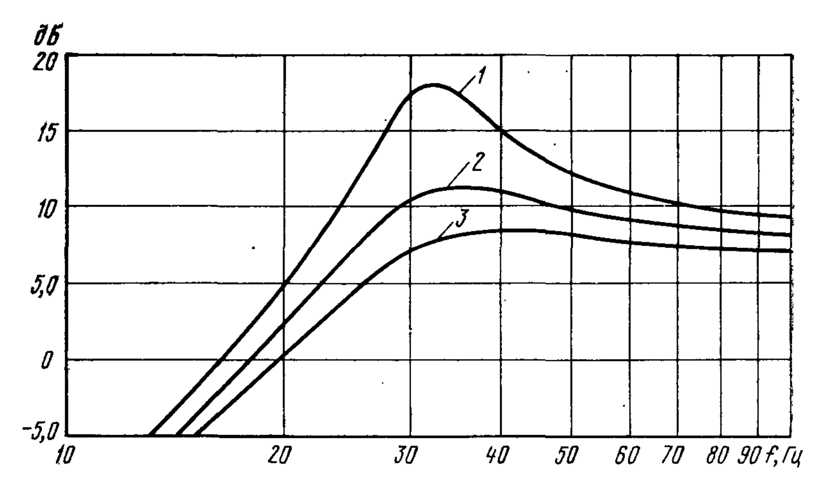


Рис. 15. Амплитудно-частотные характеристики корректора общего канала низших частот при различных значениях его добротности Q:
1 — Q=3; 2 — Q=1,5; 3 — Q=1,1

ант настройки. В этом случае необходимо измерить частоту механического резонанса низкочастотного громкоговорителя, например по АЧХ входного сопротивления. Частота настройки корректора должна быть в два раза ниже частоты механического резонанса низкочастотного громкоговорителя. Подъем на частоте настройки корректора АЧХ должен составлять 12 дБ относительно плоской части АЧХ. Частота настройки и добротность могут регулироваться независимо. Для изменения частоты настройки могут регулироваться независимо. Для изме-

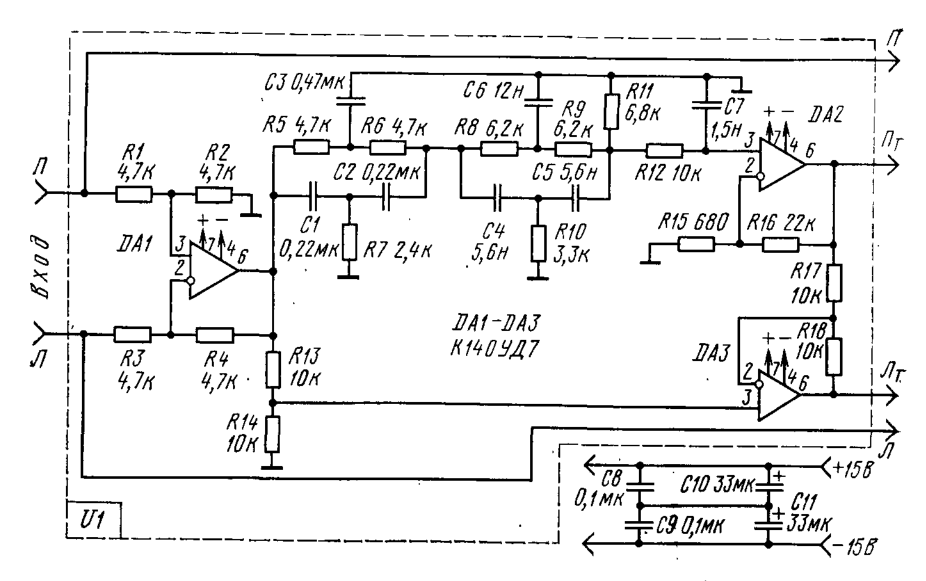


Рис. 16. Принципиальная электрическая схема второго варианта синтезатора пространственного звучания

нения частоты настройки необходимо изменить номиналы резисторов R10 и R11 (R9=R10), для изменения добротности следует измеиить R13. При увеличенни R13 уменьшается добротность и уменьшается подъем АЧХ на иизшей частоте. На рис. 15 приведены амплитудно-частотные характеристики корректора на низких частотах для различных значений добротности Q.

Коэффициент передачи канала иизких частот в зависимости от номинала резистора R12 может быть установлен от —10 до +20 дБ.

Основные параметры качества:

Модуль коэффициента взаимной корреляции сигналов в тыловых и фронтальных каналах, не более:	
в режиме повышенной объемности	0,5
в режиме высокой объемности	0,1
Номинальный уровень входного сигнала	0 дБ
Номинальный уровень выходного сигнала фронтальных каналов	0 дБ
Номинальный уровень выходного сигнала тыловых каналов	6 дБ
Частота раздела	90 Гц
Уровень собственных шумов, не более	—80 дБ
Коэффициент гармоник, не более	0,1%
Входное сопротивление	20 кОм

6. ВАРИАНТЫ РЕАЛИЗАЦИИ СИНТЕЗАТОРА ПРОСТРАНСТВЕННОГО ЗВУЧАНИЯ

На рис. 16 приведена принципиальная электрическая схема синтезатора пространственного звучания, построенного на основе режекторных фильтров [9]. Это устройство существенно проще, чем первый вариант синтезатора (см. рис. 12). Для получения слабокоррелированных с фронтальными тыловых сигналов используются процедуры фильтрации и суммарно-разностных преобразований. Сигналы для тыловых каналов формируются как разность сигналов каналов *А* и *В* фонограммы, пропущенная через систему фильтров.

На интегральной схеме DA1 типа К140УД7 реализовано вычитающее устройство, которое формирует разность сигналов левого и правого каналов фонограммы. Полученный разностный сигнал подается на пассивный двухкаскадный режекторный RC-фильтр. Первое звено фильтра образовано элементами R5—R7, C1—C3 и настроено на частоту 150 Гц, второе звено образовано элементами R8—R10, C4—C6 и настроено на частоту 4,5 кГц. Элементы R12, C7 образуют фильтр низких частот с частотой среза около 10 кГц. Неинвертирующий усилитель на интегральной схеме DA2 типа К140УД7 обеспечивает компенсацию затухания сигналов в пассивном RC-фильтре. Сигнал с выхода усилителя на интегральной схеме DA2 подается на правый тыловой громкоговоритель. Сигнал для левого тылового громкоговорителя формируется как разность входного и выходного сигналов пассивного RC-фильтра с помощью вычитающего устройства на интегральной схеме DA3 типа К140УД7. На рис. 17 приведены амплитудно-частотные и фазочастотные характеристики фронтальных каналов синтезатора пространственного звучания, а на рис. 18 — те же характеристики, но для тыловых каналов. Данный вариант синтезатора отличается существенной неравномерностью АЧХ.

Детали. В качестве операционных усилителей DA1—DA3 могут быть применены микросхемы типа К544УД1, К157УД2, К157УД3 (с соответствующими

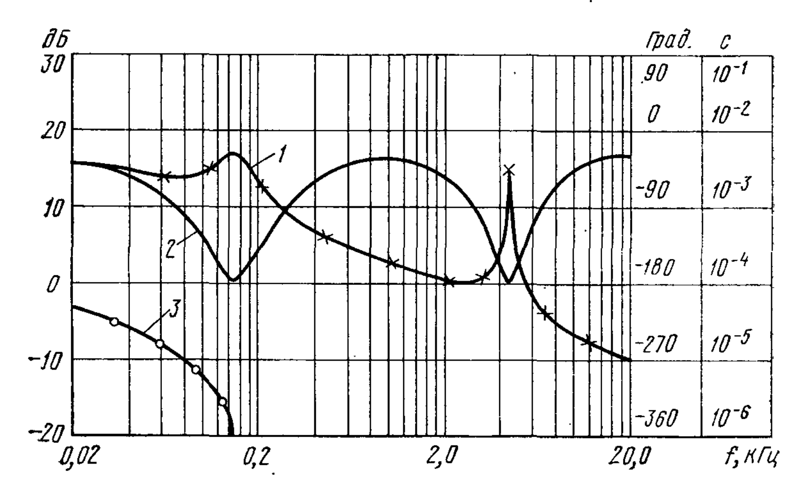


Рис. 17. Характеристики второго варианта синтезатора пространственного звучания (фронтальные каналы):
1 — ГВЗ; *2* — АЧХ; *3* — ФЧХ

цепями коррекции). В крайнем случае можно использовать практически любые операционные усилители. При этом могут возрасти собственные шумы устройства и вносимые нелинейные искажения. В пассивном RC-фильтре необходимо применять резисторы с точностью не хуже 2%, конденсаторы с точностью не хуже 5%. В качестве C1—C3 следует использовать пленочные конденсаторы с рабочим напряжением не менее 63 В. В качестве конденсаторов C4—C7 можно использовать как пленочные, так и керамические, например типов КМ-5, КМ-6. Конденсаторы C8—C11 — шунтирующие, C8, C9 — керамические, C10, C11 —

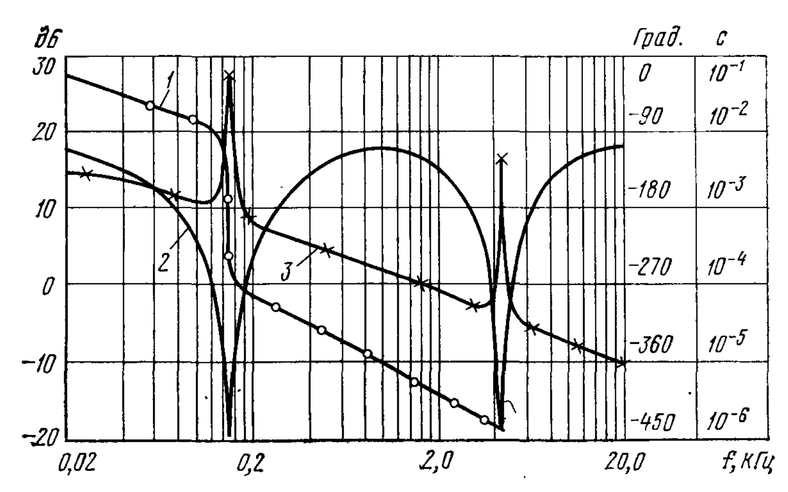


Рис. 18. Характеристики второго варианта синтезатора пространственного звучания (тыловые каналы):
1 — ФЧХ; *2* — АЧХ; *3* — ГВЗ

электролитические типов К50-16, К50-35, К53-14 или аналогичные с рабочим напряжением не менее 20 В. Настройка устройства при исправных деталях не требуется.

Основные параметры качества:

Модуль коэффициента взаимной корреляции сигналов в тыловых и фронтальных каналах, не более	0,5
Номинальный уровень входного сигнала	0 дБ
Номинальный уровень выходного сигнала	6 дБ
Уровень собственных шумов, не более	—80 дБ
Коэффициент гармоник, не более	0,1%
Входное сопротивление	4,7 кОм

7. ГРОМКОГОВОРИТЕЛЬ КАНАЛА НИЗКИХ ЧАСТОТ

Важной частью комплекса являются громкоговорители. Система воспроизведения содержит два фронтальных, два тыловых громкоговорителя и один громкоговоритель канала низких частот. Новым, отсутствующим в обычной системе звуковоспроизведения, является громкоговоритель канала низких частот. Рассмотрим его особенности. Известно, что уменьшение объема ящика громкоговорителя при неизменной нижней границе диапазона частот воспроизводимых сигналов приводит к уменьшению коэффициента полезного действия. Нижняя граница диапазона частот сигналов, воспроизводимых при определенном уровне звукового давления, определяется площадью и амплитудой смещения диффузора головки громкоговорителя.

Максимальное звуковое давление, создаваемое громкоговорителем на средних частотах, ограничено максимальной тепловой мощностью головки. На низших частотах максимальное звуковое давление ограничено максимальной амплитудой смещения диффузора. Чувствительность громкоговорителя на частотах ниже резонансной снижается с крутизной 12 для закрытого ящика и 18 дБ/окт. для фазоинвертора. Спад чувствительности громкоговорителя на низших частотах в ряде случаев может быть скомпенсирован. Эта компенсация осуществляется электрическим корректором, включаемым на входе усилителя и обеспечивающим подъем низших частот. При этом возрастают нелинейные искажения, вносимые громкоговорителем, особенно на самых низких частотах. Это обстоятельство ограничивает применение метода электрической коррекции неравномерности АЧХ в обычных широкополосных громкоговорителях. Если же громкоговоритель используется для воспроизведения только самых низких частот (до 100...125 Гц), то повышение искажений на слух практически незаметно. Это позволяет использовать для канала низких частот небольшой по размеру громкоговоритель с электронной коррекцией АЧХ. Необходимо только обеспечить достаточный уровень звукового давления. Самый простой способ решения — использование громкоговорителя с двумя головками. В этом случае реально получение собственной резонансной частоты для закрытого ящика приемлемых размеров в диапазоне 50...60 Гц.

Выбор головок для низкочастотного громкоговорителя. Необходимое условие достижения высокого качества воспроизведения низких частот — отсутствие выбросов переходной характеристики, что обеспечивается при низкой полной добротности громкоговорителя. Можно использовать головку типа 75ГДН-1 или

30ГД-2 (полная добротность Q=0,3...0,4), или головку 75ГДН-3 (Q=0,2... ...0,3). Большое значение имеют также качество герметизации и жесткость корпуса громкоговорителя.

В качестве опытного образца был изготовлен и испытан громкоговоритель с двумя головками типа 30ГД-2. Ящик имел прямоугольную форму с размерами 700×320×280 мм и был выполнен из 15-мм фанеры. Для повышения жесткости в нем были установлены две распорки между передней и задней и боковыми стенками. Для снижения общей добротности громкоговорителя в ящике размещалось 1200 г ваты.

Резонансная частота громкоговорителя составила 55 Гц, общая добротность, измеренная по методике, приведенной в [10], — 0,62. С корректором был обеспечен рабочий диапазон частот 25...100 Гц при уровне звукового давления 96 дБ и неравномерности АЧХ менее 5 дБ.

Список литературы

1. **Микросхемы** для бытовой радиоаппаратуры: Справочник/ И. В. Новаченко, В. М. Петухов, И. П. Блудов и др. — М.: Радио и связь, 1989. — 384 с.
2. **Добрев Д., Йордапова Л.** Приемник за спътникова телевизия// Радио, телевизия, електроника. — 1990. — № 6. — С. 23—26.
3. **Вестник** связи. Тематический выпуск, посвященный проблемам непосредственного телевизионного вещания. — 1990. — № 6.
4. **Grundig** Revue. — 1990. — S. 20—23.
5. **Dotman P.** Surround by Sound// Electronics World+Wirelles World. — 1990. — № 1. — P. 35—37, 40—42, 44.
6. **Белкин Б. Г.** Стереофония в кино// Техника кино и телевидения. — 1984. — № 1. — С. 3—14.
7. **Ковалгин Ю. А., Борисенко А. В., Гензель Г. С.** Акустические основы стереофонии. — М.: Связь, 1978. — 336 с.
8. **Блауерт И.** Пространственный слух: Пер. с нем. — М.: Энергия, 1979. — 224 с.
9. **Пат.** 4.653 096 (США). Device for Forming A Simulated Stereophonic Sound Field/ K. Yokoyama.
10. **Виноградова Э. Л.** Конструирование громкоговорителей со сглаженными частотными характеристиками. — М.: Энергия, 1978. — 49 с.
11. **Прием** телевидения и радиовещания со спутников/ Д. Ю. Бэм, М. Е. Ильченко, А. П. Живков, Л. Г. Гассанов. — К.: Техника, 1992. — 176 с.

СОДЕРЖАНИЕ